



## Внутрисезонное изменение осадков и климатических характеристик в бассейне реки Кабул

Жамал Абдул Насер Шокори<sup>1,2,4\*</sup>, Жун-ичиро Гиоргос Тсуцуми<sup>2</sup>, Хироюки Йамада<sup>3</sup>, Бьёрн Клёве<sup>5</sup>

(Jamal Abdul Naser Shokory, Jun-ichiro Giorgos Tsutsumi, Hiroyuki Yamada, Bjørn Kløve)

<sup>1</sup> Департамент водных ресурсов, Министерство энергетики и воды, Афганистан

<sup>2</sup> Департамент гражданского строительства и архитектуры, Университет Рюкю, Япония

<sup>3</sup> Департамент физики и науки о Земле, Университет Рюкю, Япония

<sup>4</sup> Департамент водных ресурсов, Исследовательская организация по развитию (ROD), Афганистан

<sup>5</sup> Водные ресурсы и экологическая инженерия, Факультет технологии, Университет Оулу, Финляндия

\*для корреспонденции: [jamalnaser.shokory@gmail.com](mailto:jamalnaser.shokory@gmail.com); [jamalnaser.shokory@rod.af](mailto:jamalnaser.shokory@rod.af)

Получено: 31 мая 2017; Принято: 30 ноября 2017; Доступно онлайн: 04 февраля 2018.

### Аннотация

На долю внезапных весенних и летних наводнений в Афганистане приходится 54,3 % от общего числа стихийных бедствий. За период с 1990 по 2014 год экономический ущерб от подобных явлений составил, в среднем, 92,17 млн. долларов США. Знание климата и частоты выпадения осадков крайне необходимы для городского и сельского землепользования, проектирования инфраструктуры и их защиты от наводнений. В данном исследовании, для определения сезонных характеристик засушливых и влажных периодов используется уравнение Торнтвейта. Для определения частоты и межсезонных колебаний количества осадков в пределах бассейна реки Кабул проводился спектральный анализ. Анализ основан на данных, полученных с 49 наземных базовых станций. Данные включают три параметра (осадки, относительную влажность и температуру) за восьмилетний (с 2006 по 2013) и пятилетний (с 2009 по 2013) периоды. Изображения горизонтального распределения погоды за 5 лет на основе данных JRA-55 (55 year Japan Reanalysis data [данные повторного анализа глобальной атмосферы за 55 лет Японского метеорологического агентства ЯПА-55]) были использованы для определения траектории распределения влажности в каждом сезоне. Результаты анализа показали, что бассейн реки Кабул имеет три различных типа климата (Центральный, Северный и Восточный). Изображения горизонтального распределения относительной влажности с векторами ветра показали источники и направления воздушных масс, ведущих к проливным дождям из регионов Аравийского и Каспийского морей, приближающихся к западу и северо-западу Афганистана в зимний и весенний сезон, соответствуя 10-дневным спектральным максимумам. Летом и осенью влияние южно-азиатских летних муссонов отмечено 6-8 дневными колебаниями с различной плотностью на каждой станции, однако, в восточной части они были намного значительнее.

**Ключевые слова:** Спектральный анализ, осадки, наводнение, южно-азиатский, летний муссон.

### 1. Введение

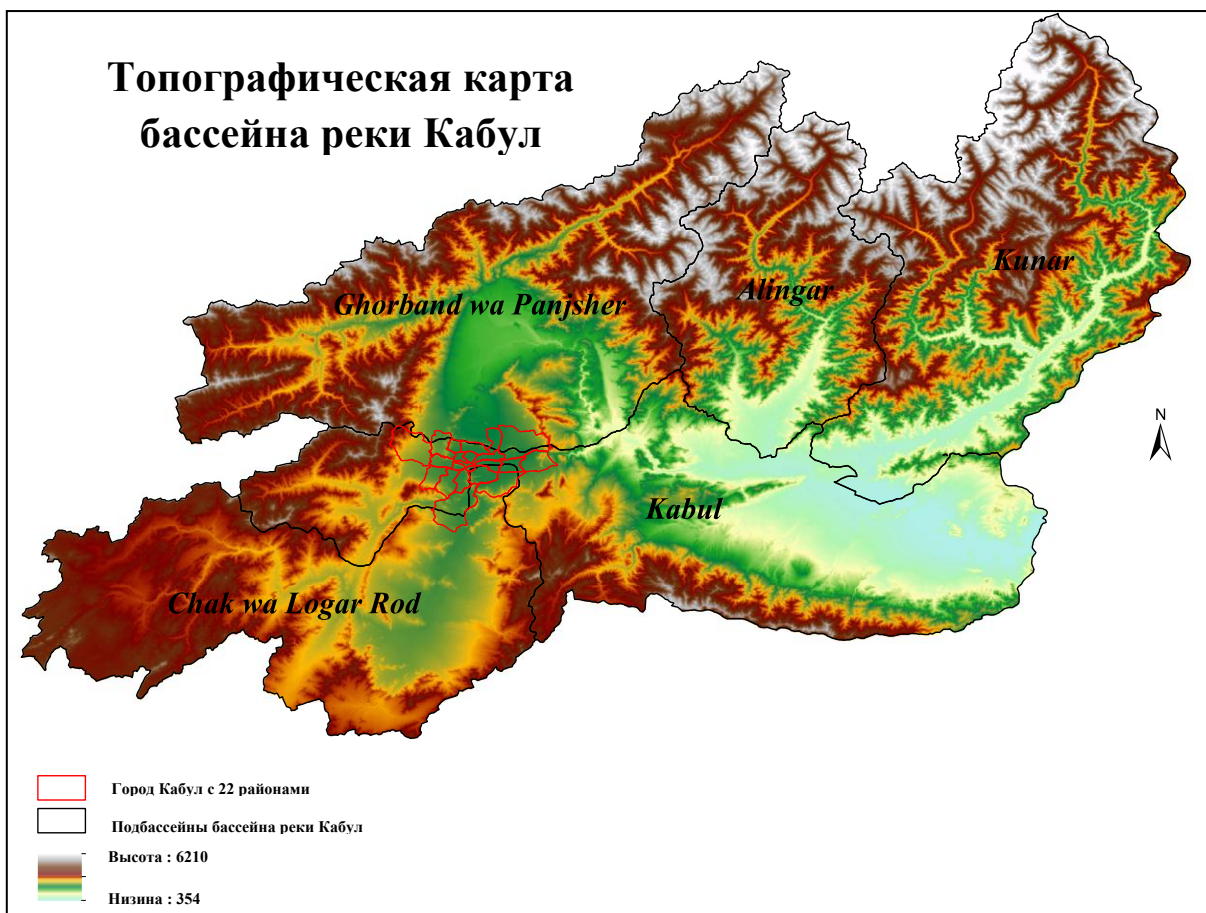
В последние годы в бассейне реки Кабул возросло количество экстремальных наводнений и засуха [1]. Для лучшего понимания климатических изменений,

информация об осадках и влажности имеет важное значение, однако в Афганистане, такой информации и исследований недостаточно из-за тридцатилетней войны и долгого пробела в гидро-метеорологических данных наблюдений, в период с 1980 по 2007 год [2]. Таким образом, целью данного исследования является анализ существующих данных и записей с 2006 года. Годовые изменения осадков на территории Афганистана, считаются довольно небольшими, тогда как сезонные и пространственные изменения являются значительными. Климатические различия в бассейне реки Кабул указывают на повышение температуры на  $0.1-1.7^{\circ}\text{C}$  в зимний и весенний периоды и незначительное снижению температуры на  $0.7^{\circ}\text{C}$  в летний и осенний периоды (1962-1983) - (2009-2013). В зимний и весенний периоды выпадает 15-25 мм осадков, тогда как количество осадков увеличивается в летний и осенний периоды (1962-1983) - (2006-2013) [3]. Основной целью данного исследования является анализ текущей климатической характеристики бассейна реки Кабул с учетом последних данных и знаний об изменении климата, межсезонных колебаниях и атмосферного распределения влажности в бассейне реки Кабул. Результаты исследования предоставят полезную информацию для лучшего понимания причин возникновения наводнений и для общего понимания климата в Кабуле и в Афганистане.

## **2. Материалы и методы**

### *2.1. Бассейн реки Кабул*

Климат Афганистана изменяется от засушливого до полузасушливого, с холодными зимами (минимальная температура достигает  $-10^{\circ}\text{C}$ ) и жарким летом (максимальная температура повышается до  $50^{\circ}\text{C}$ ). Годовое количество осадков колеблется от 50 мм/год на юго-западе и до 1000 мм/год на северо-восточных возвышенностях [4]. На территории Афганистана находится пять основных бассейнов рек: Амударья, Кабул, Гильменд, Харируд-Мургхаб и Западный речной бассейн. В данном исследовании основное внимание уделено реке Кабул, которая принадлежит бассейну реки Кабул в северо-восточной части Афганистана (рисунок 1). Городская население Кабула стремительно растет и насчитывает около 4 млн человек. Географически, в северной части бассейна преобладают высокие горы (около 6000 м), тогда как высота юго-восточной части составляет около 400 метров над уровнем моря. Общая площадь бассейна реки Кабул составляет 53 830 км<sup>2</sup>, с орошаемыми землями, площадь которых оценивается в 306 000 гектаров. Около 93 % всех лесов страны расположены в восточной части бассейна [5].



**Рисунок 1.** Топографические изменения бассейна реки Кабул

### 2.2. Данные об осадках

Ежедневные данные об осадках были взяты с 29 станций, установленных в рамках Агромет-проекта Министерства сельского хозяйства, ирригации и животноводства Афганистана, в период с 2006 по 2013. Данные по температуре воздуха и относительной влажности записывались каждые 15 минут, благодаря 18 автоматическим гидрологическим станциям под наблюдением Министерства энергетики и водных ресурсов Афганистана за период 2009-2014 (Таблица 1). Горизонтальное распределение погодных изображений было получено из метеорологической лаборатории в университете Рюкю за период 2009-2013 [6].

Таблица 1. Количество гидро-метеорологических станций в каждом регионе

| №  | Регион          | Название станции | X         | Y     | Высота (м) | Параметр | №  | Название станции | X     | Y     | Высота (м) | Параметр |
|----|-----------------|------------------|-----------|-------|------------|----------|----|------------------|-------|-------|------------|----------|
| 1  | Центральный КРБ | Бадам Багх       | 69.12     | 34.55 | 1803       | РТ       | 1  | Кала-и-Малик     | 68.97 | 34.58 | 2211       | АТ-РН    |
| 2  |                 | Даруламан        | 69.13     | 34.46 | 1822       | РТ       | 2  | Пул-и-Сурх       | 68.77 | 34.37 | 2216       | АТ-РН    |
| 3  |                 | Гул Кхана        | 69.20     | 34.51 | 1793       | РТ       | 3  | Кабул            | 69.21 | 34.56 | 1980       | АТ       |
| 4  |                 | Кабул            | 69.22     | 34.55 |            | РТ       | 4  | Схакардара       | 69.00 | 34.69 | 2168       | АТ-РН    |
| 5  |                 | Кариз Мир        | 69.05     | 34.63 |            | РТ       |    |                  |       |       |            |          |
| 6  |                 | Пагхман          | 68.99     | 34.58 | 2142       | РТ       |    |                  |       |       |            |          |
| 7  |                 | Каргха           | 69.05     | 34.55 | 1934       | РТ       |    |                  |       |       |            |          |
| 8  |                 | Сароби           | 69.76     | 34.60 | 959        | РТ       |    |                  |       |       |            |          |
| 9  |                 | Логар            | 69.05     | 33.99 | 1922       | РТ       |    |                  |       |       |            |          |
| 10 |                 | Схаск            | 68.59     | 34.11 |            | РТ       |    |                  |       |       |            |          |
| 11 |                 | Жагхатоо         | 68.55     | 33.95 |            | РТ       |    |                  |       |       |            |          |
| 12 | Северный КРБ    | Каписа Агри      | 69.35     | 35.03 | 1471       | РТ       | 5  | Багх-и-Лала      | 69.22 | 35.15 | 1698       | АТ-РН    |
| 13 |                 | Кохестан         | 69.33     | 35.09 | 1536       | РТ       | 6  | Пул-и-Ашава      | 69.14 | 35.09 | 1624       | АТ-РН    |
| 14 |                 | Дара Панжшеер    | 69.66     | 35.29 | 2330       | РТ       | 7  | Багх-и-Омоми     | 69.29 | 35.15 | 1587       | АТ-РН    |
| 15 |                 | Даштак           | 69.48     | 35.38 | 3401       | РТ       | 8  | Танг-и-Гулбахар  | 69.29 | 35.16 | 1625       | АТ-РН    |
| 16 |                 | Схарикар         | 69.19     | 35.04 | 1559       | РТ       | 9  | Кераман          | 69.66 | 35.28 | 2232       | АТ-РН    |
| 17 |                 | Жабулсараж       | 69.25     | 35.13 |            | РТ       | 10 | Кхавак           | 69.89 | 35.56 | 2405       | АТ-РН    |
| 18 |                 | Сея Герд         | 68.86     | 35.00 | 1848       | РТ       | 11 | Схухи            | 69.48 | 34.94 | 1374       | АТ-РН    |
| 19 |                 | Нортх Саланг     | 69.02     | 35.32 |            | РТ       | 12 | Нортх Саланг     | 69.02 | 35.32 | 3366       | АТ-РН    |
| 20 |                 | Соутх Саланг     | 69.07     | 35.30 |            | РТ       | 13 | Соутх Саланг     | 69.07 | 35.30 | 3172       | АТ-РН    |
| 21 |                 |                  | Асад Абад | 71.15 | 34.88      | 875      | РТ | 14               | Даках | 71.04 | 34.23      | 419      |
| 22 | Восточный КРБ   | Асмар            | 71.43     | 35.02 |            | РТ       | 15 | Асмар            | 71.20 | 34.92 | 832        | АТ-РН    |
| 23 |                 | Лагхман          | 70.22     | 34.65 |            | РТ       | 16 | Пул-и-Бехсуд     | 70.46 | 34.45 | 555        | АТ-РН    |
| 24 |                 | Мехтарлам        | 70.20     | 34.65 | 751        | РТ       | 17 | Пул-и-Каргхай    | 70.24 | 34.55 | 643        | АТ-РН    |
| 25 |                 | Агам             | 70.29     | 34.20 | 1205       | РТ       | 18 | Нагхлу           | 69.72 | 34.64 | 998        | АТ-РН    |
| 26 |                 | Фарм Жадеед      | 70.51     | 34.40 | 554        | РТ       | 19 | Пул-и-Кама       | 70.56 | 34.47 | 558        | АТ-РН    |
| 27 |                 | Гхази Абад       | 70.74     | 34.26 | 552        | РТ       | 20 | Пул-и-Наляр      | 70.37 | 34.83 | 902        | АТ-РН    |
| 28 |                 | Жалалабад        | 70.47     | 34.47 |            | РТ       |    |                  |       |       |            |          |
| 29 |                 | Схешамбагх       | 70.47     | 34.41 | 579        | РТ       |    |                  |       |       |            |          |

### 2.3. Методы

Для характеристики климата различных регионов бассейна реки Кабул была использована концепция Торнтвейта [7], где показатель эффективности осадков (РЕ) классифицирует климат от влажного до сухого (Таблица 2) на основе уравнения 1.

Таблица 2. Классификация погоды Торнтвейта

| РЕ Индекс      | Климат         |
|----------------|----------------|
| Больше чем 128 | Влажный        |
| 64 - 127       | Гумидный       |
| 32 - 63        | Субгумидный    |
| 16 - 31        | Полузасушливый |
| Меньше чем 16  | Сухой          |

$$PE\ index = \sum_{1}^{n=12} 115 \left( \frac{P}{T} - 10 \right)^{\frac{10}{9}} \quad (1)$$

где,  $P$  – месячное количество осадков в дюймах,  $T$  – температура по шкале Фаренгейта °F,  $n$  – количество месяцев (12). Уравнение Торнтвейта 1957 года было задействовано для оценки потенциальной эвапотранспирации (ППЭ) [8]. ППЭ и атмосферные осадки определяют сухие и влажные периоды климата в течение года. ППЭ рассчитывается по температуре и тепловому индексу, и несмотря на существенные ограничения, данное уравнение широко применяется в силу его простоты и доступных температурных данных.

Уравнение Торнтвейта для оценки ППЭ:

$$PET = 16 \left( \frac{10t}{I} \right)^a \quad (2)$$

$$I = \sum_{1}^{12} i, \quad i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1.514} \quad (3)$$

$$a = (6.75 \times 10^{-7}) I^3 - (7.71 \times 10^{-3}) I^2 + (1.792 \times 10^{-2}) I + 0.492 \quad (4)$$

где,  $t$  – среднемесячная температура по шкале Цельсия °C,  $I$  – ежегодный тепловой индекс,  $i$  – ежемесячный тепловой индекс,  $a$  – коэффициент пропорциональный тепловому индексу.

### 2.2.1. Спектральный анализ

Спектральный анализ был использован в качестве метода для разделения дисперсии временных рядов на относительные значимости, связанные с различными шкалами времени [9]. Для многих реальных временных рядов, спектры иногда показывают уменьшение амплитуды с увеличением частоты, что называется «красным шумом». Согласно, например, Хасселманну (1976) и Шульцу и соавторам (2002), климатический «красный шум» во временных рядах может быть смоделирован как авторегрессионный процесс первого порядка (AR1) [10, 11].

AR (1) процесс уравнения для переменной  $r$ :

$$r(t_i) = r_i r(t_{i-1}) + e(t_i) \quad (5)$$

$$r_i = \exp(-(t_i - t_{i-1}) / \tau) \quad (6)$$

Для времен  $t_i (i=1,2,\dots,N)$ ,  $\tau$  - характерный временной ряд AR1 процесса и  $\varepsilon$  - «белый» Гауссовский шум с нулевым средним.

$$S_\varepsilon^2 = 1 - \exp\left(-\frac{2(t_i - t_{i-1})}{\tau}\right) \quad (7)$$

Спектр  $G_{rr}(f_j) Grr(f_i)$ , относящаяся к процессу временного интервала, рассчитывалась как показано в уравнении ниже:

$$Grr(f_i) = G_0 \frac{1 - r^2}{1 - 2r \cos\left(\frac{\rho f_i}{f_{Nyq}}\right) + r^2} \quad (8)$$

Где  $f_i$  - дискретная частота до частоты Найквиста  $f_{Nyq}$  и  $G_0$  - это средняя спектральная амплитуда. «Средний коэффициент автокорреляции»  $\rho$  рассчитывается как среднее арифметическое значение выборочного интервала.

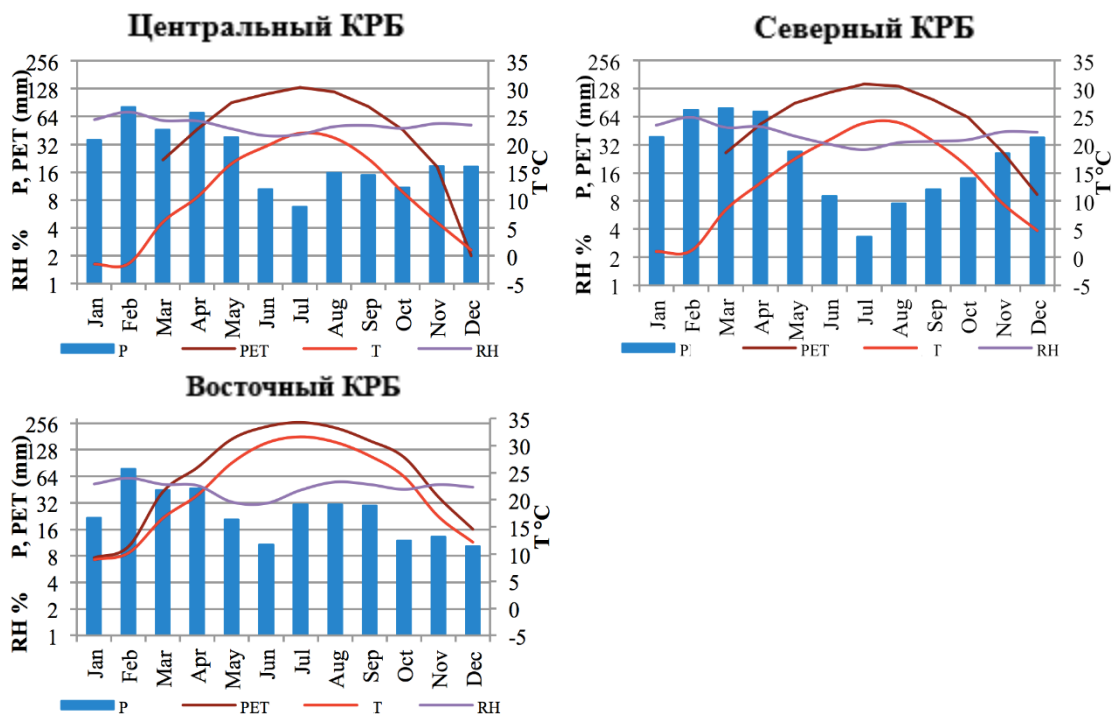
$$Dt = \frac{(t_N - t_1)}{N - 1} \quad \text{as} \quad r = \exp\left(-\frac{Dt}{\tau}\right) \quad (9)$$

Программный код Fortran90 был применен для всех вышеперечисленных расчетов в компьютерной программе REDFIT, с помощью которой были произведены вычисления вышеперечисленных шагов. Данная программа находится в свободном доступе по ссылке: <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/softlib/redfit/redfit.html>.

### 3. Результаты и обсуждение

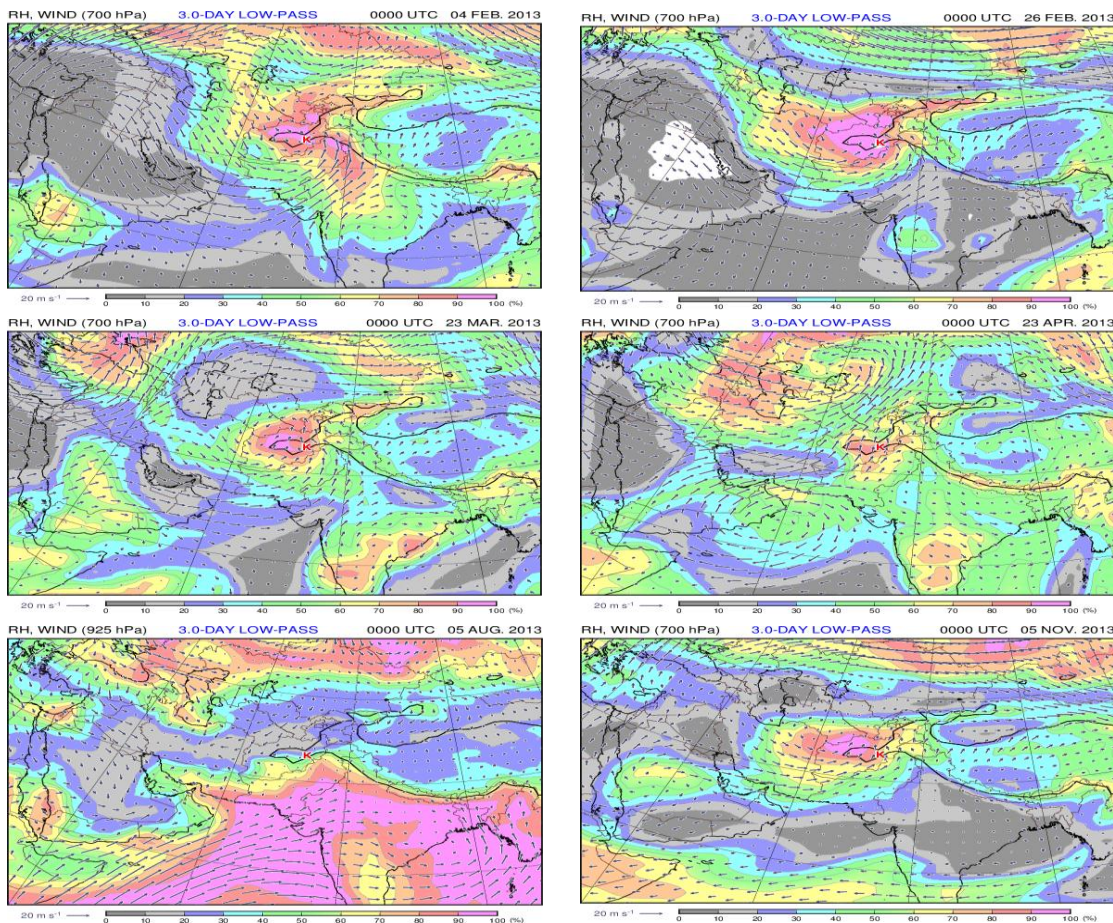
#### 3.1. Климатические характеристики

Полученные результаты показали небольшие климатические различия между регионами (рисунок 2). В период 2006-2013, среднегодовое количество осадков немного выше в зимний период в центральной и северной части, а также в летний период в восточной части. Согласно классификации климата по Торнтвейту, климат центрального и северного региона может быть классифицирован как субгумидный, а климат восточного региона - как полусухой (ППЭ = 41, 39, 20) (таблица 2). Как показано на рисунке 2, температура в восточном регионе - выше, что повлияло на ППЭ индекс. Относительная влажность во всех регионах достигает максимума весной и зимой, а летом и осенью максимальные значения наблюдаются только в восточном регионе.



**Рисунок 2.** Среднемесячные климатические характеристики в трех регионах КРБ. (P=Осадки, T= Температура, PET= потенциальная эвапотранспирация ППЭ, RH= Относительная влажность)

Синоптические карты составленные за период 2009-2013 во время проливных дождей показывают, что весенние и зимние максимумы осадков соответствуют масштабной влажности, которая проходит через Каспийское море и Черное море в зимний период, а также Аравийское море весной, приближаясь с севера и северо-запада Афганистана (рисунок.3). В летний и осенний сезоны, климат находится под влиянием южно-азиатского летнего муссона. Летний муссон наблюдался только в восточной части Афганистана сопровождаясь обильными дождями (рисунок 2). Южно-азиатский летний муссон надвигается из Аравийского моря, Бенгальского залива и Индийского океана, пересекая Индию и Пакистан, оказывая влияние на восточную часть Кабульского речного бассейна (рисунок 3). Колебания температуры изменяются в зависимости от географии региона. Суточное колебание температуры опускается ниже нуля во всех регионах кроме восточного. Максимальная суточная температура была выше в восточной части в июле и августе. Влажный период над северной и центральной частями наблюдался зимой и в начале весеннего сезона, тогда как влажный период в восточной части был только зимой (рисунок 2). Засушливое лето наблюдается почти во всех регионах, и сильное обилие дождей могло привести к наводнениям во всех этих регионах.



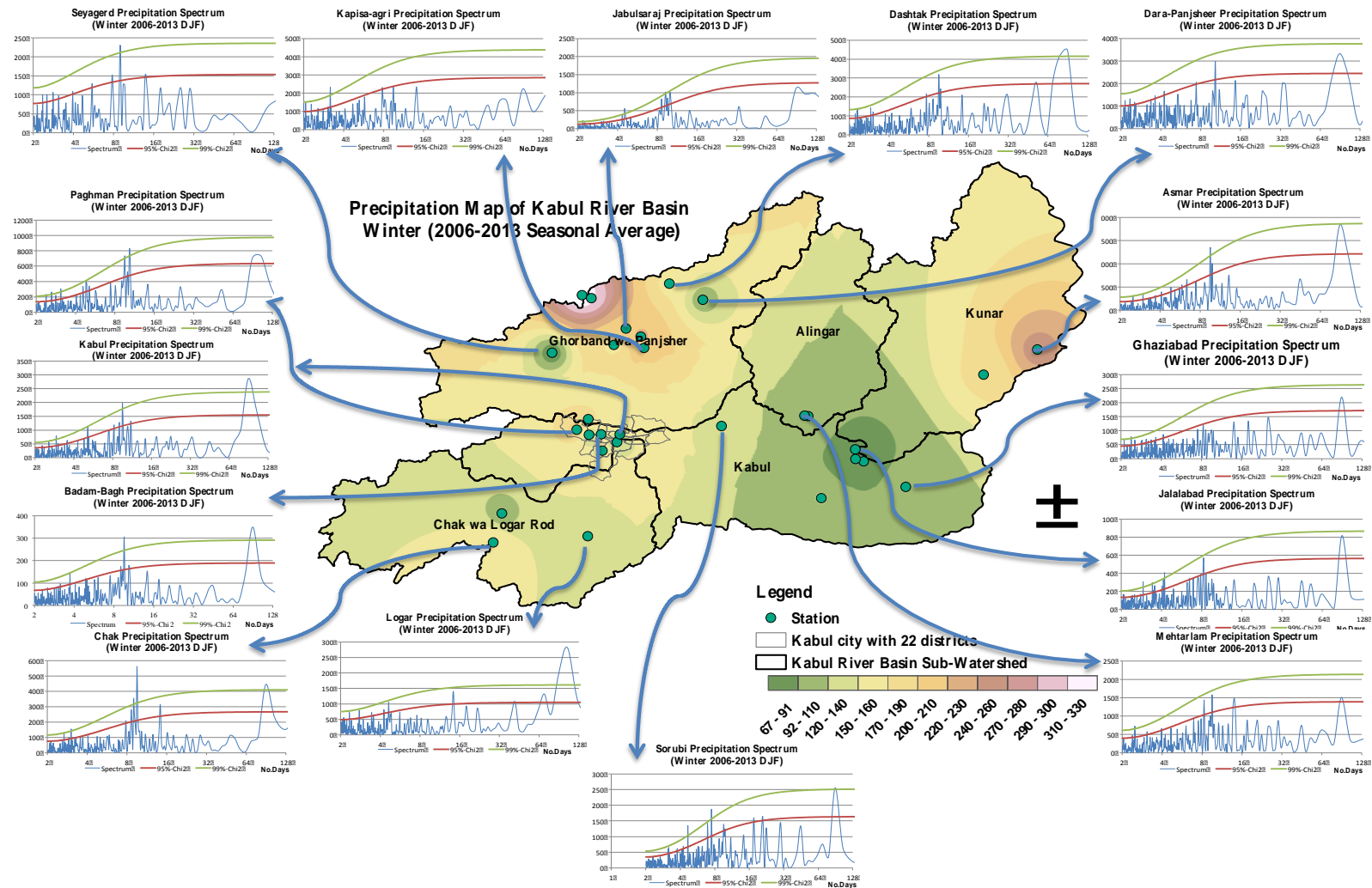
**Рисунок 3.** Горизонтальное распределение изображений во время различных обильных осадков. Затемненные участки отражают относительное распределение влажности, стрелками показаны вектора ветра с учетом 3х дневного замедленного пропускного фильтра

### 3.2 Спектральные максимумы

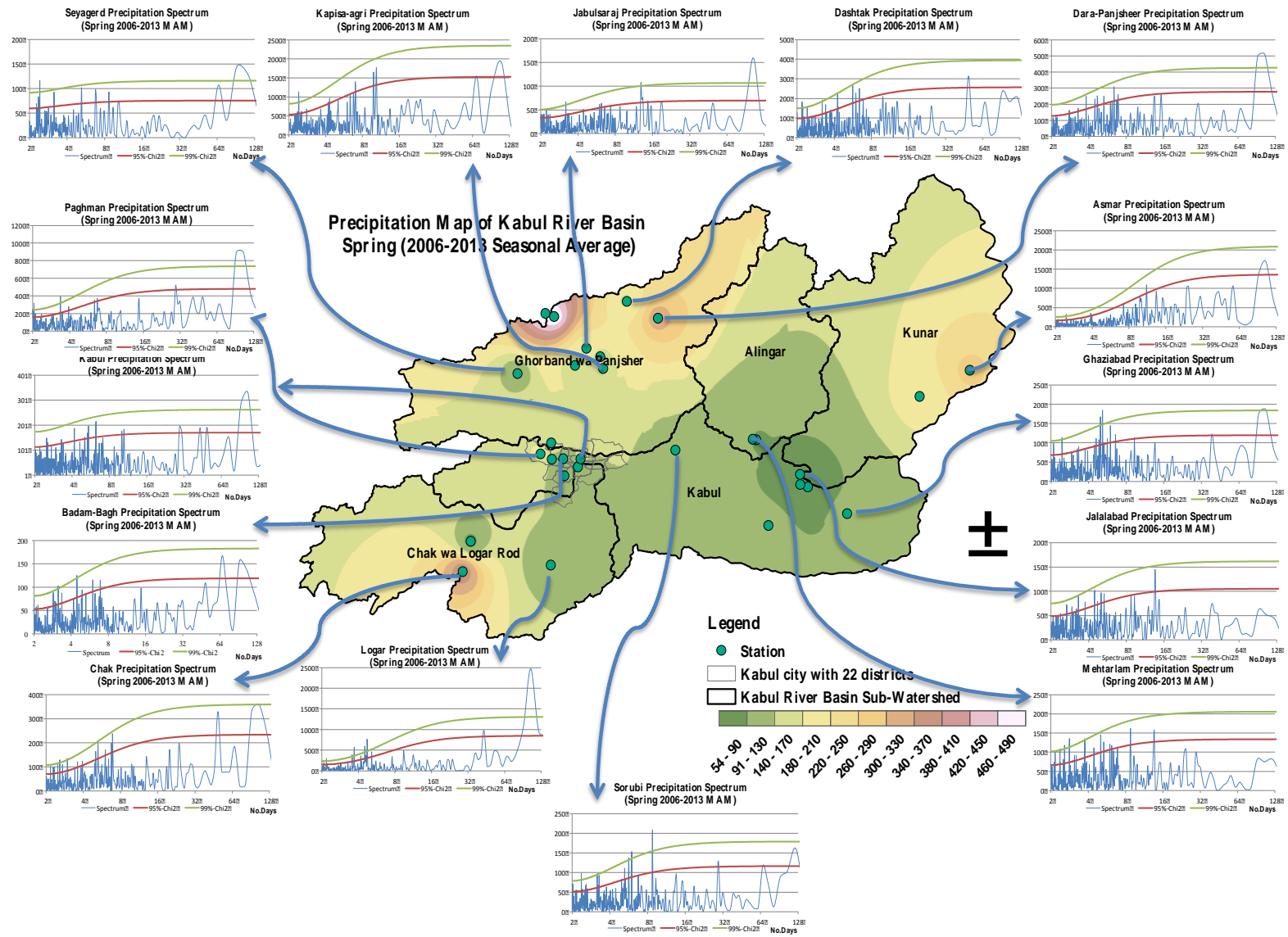
Спектральные максимумы осадков на каждой метеорологической станции (с 2006 по 2013 годы) были рассчитаны с 90% и 99% доверительным интервалом «красного шума». Сезонный цикл осадков за 2006-2013 годы по всем регионам показал десятидневную осцилляцию в зимний период, в центральной и северной частях – 7-10 дневную осцилляцию в весенний сезон, и приблизительно 14 дневную осцилляцию в восточной части. В летний и осенний сезоны подобные 6-8 дневные осцилляции были во всех регионах, а также 14-16 дневные осцилляции в восточном регионе.



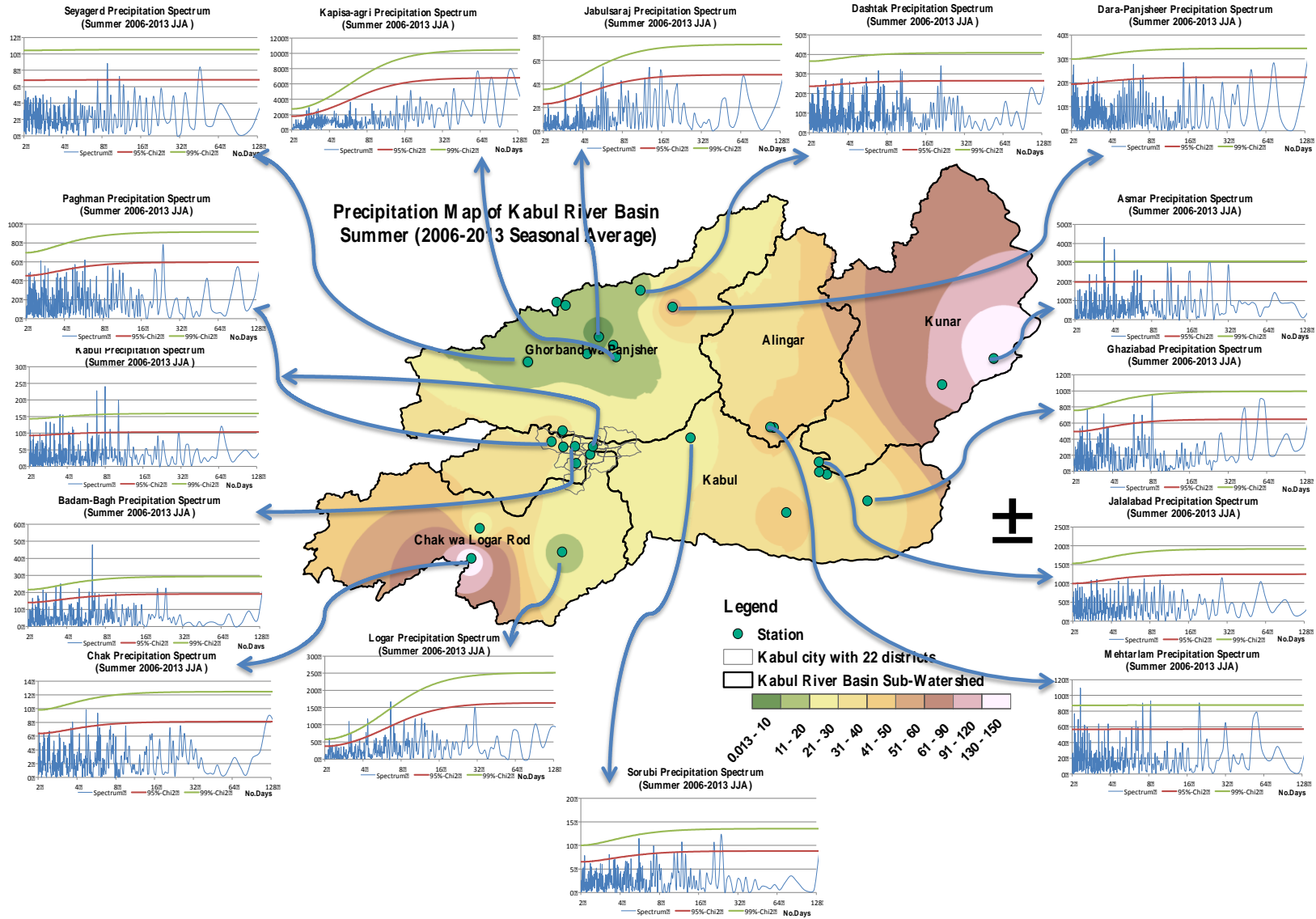
a)

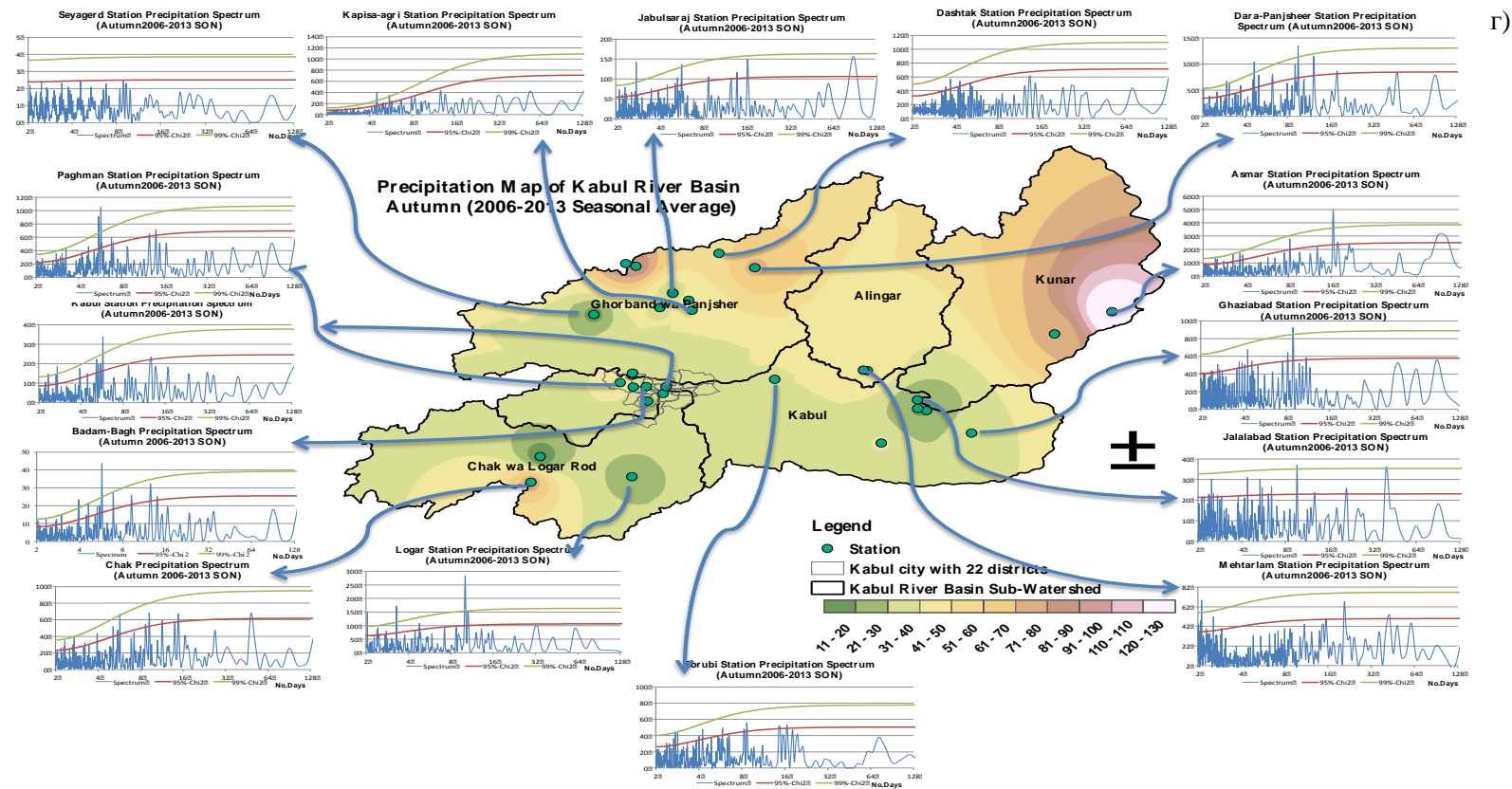


6)



B)





Г)

**Рисунок 4.** Спектральные максимумы суточного количества осадков в четырех сезонах, основанные на 810 дневных данных в каждом сезоне за период с 2006 по 2013 годы. Зимний спектрал (а) демонстрирует почти 10 дневный максимум, учитывая 95 и 99 % уровень доверия (плавные кривые) на всех станциях; это соответствует существующей воздушной массе крупного масштаба (Рис. 3). Спектральные максимумы в весенний сезон (б) демонстрируют почти 7-10 дневный максимум на большинстве станций с дополнением 14-16 дневной осцилляции в восточной части. Летние и осенние спектральные максимумы демонстрируют 6-8 дневные максимумы с высокой плотностью в восточной части

### 3.3. Рекомендации

В данном исследовании авторы предлагают первоначальную оценку и обзор сезонных погодных характеристик в бассейне реки Кабул с учетом новых доступных данных. Принимая во внимание тот факт, что более обновленные данные становятся доступны, и учитывая сложность рельефа территории Афганистана, авторы рекомендуют дальнейшие исследования с подробными объяснениями сезонных изменений.

## 4. Заключение и выводы

Данное исследование определило три различных климатических характеристики в бассейне реки Кабул, а также источник влажности в каждом сезоне. Временной интервал осадков был проанализирован, используя метод спектрального анализа для определения периодичности осадков в каждом сезоне. Климат был классифицирован по методу Торнтвейта.

Основные выводы:

1. Зимний и весенний сезоны были определены как влажные периоды во всех трех регионах.
2. Лето и ранняя осень были классифицированы как сухие периоды из-за высокой температуры; довольно высокие осадки наблюдались в восточной части.
3. Спектр зимних осадков показал 10 дневные максимумы во всех частях региона, что соответствует существующей воздушной массе.
4. Летние спектральные максимумы были регулярными в восточной части, сопровождаясь южно-азиатским летним муссоном.
5. Зимние и весенние синоптические карты показали, что источник влажности в основном приходит с Каспийского моря, Черного моря, Оманского залива и Персидского залива, приближаясь с запада и северо-запада с антициклоническими циркуляциями.
6. Синоптические карты составленные в летний и осенний сезоны показали, что источник влажности, в основном, является южно-азиатский летний муссон, тогда когда под его воздействием оказывается восточная часть. В связи с этим летних осадков больше в восточной части.

## 5. Благодарность

Авторы хотели бы выразить глубочайшую благодарность Министерству энергетики и воды, Министерству сельского хозяйства, ирригации и животноводства Афганистана, Департаменту Метеорологии научного факультета Университета Рюкю в Японии за предоставленные данные для исследования, без которых данное исследование было бы невозможным. Авторы также хотели бы поблагодарить Организацию по Безопасности и Сотрудничеству в Европе (ОБСЕ) за ценный курс по написанию научных работ.

## Список литературы

Центральноазиатский журнал исследований воды (2017) 3(2): 30-44  
Специальный выпуск посвященный проблемам управления  
использования водных ресурсов в Центральной Азии и Афганистане

- 
- [1] Лашкарипоур Г. Р., Хуссаини С. А., Управления водными ресурсами в бассейне реки Кабул, Восточный Афганистан. *The Environmentalist*, 28 (3), 253-260 – 2008.
- [2] AQUATIC: Афганистан Тренинг и Данные по водной безопасности, онлайн ресурс: <http://aquaticinformatics.com/blog/business/water-data-security/> (посещен 29.12.2015).
- [3] Жамал Абдул Насер С., Жун-ичиро Т., Рйю Н., Воздействия изменения климата на водные ресурсы в бассейне реки Кабул, Афганистан, *WECC Конференция 2015*, PS 3-3-25 – 2015.
- [4] Хоубен, Ниард Н., Туннермеиер Т., Химмелсбач Т., Гидрогеология Кабульского бассейна (Афганистан), часть I: Водоносный горизонт и гидрология. *Журнал Гидрогео (Hydroge)*. 17: 665–677 – 2009.
- [5] Всемирный банк, Афганистан, анализ стратегических опций для развития Кабульского речного бассейна, межотраслевое решение поддерживает системный подход. Всемирный банк, 130 стр. – 2010.
- [6] Met\_RQ Страница погоды: JRA-55 Западная Азия. Онлайн ресурс: [http://w3.u-ryukyu.ac.jp/met\\_rq/weather/weather\\_jra55\\_indo.html](http://w3.u-ryukyu.ac.jp/met_rq/weather/weather_jra55_indo.html) (посещен 02.06.2015).
- [7] FAO, Эффективные осадки и их значение. – 2010. Онлайн ресурс: <http://www.fao.org/docrep/x5560e/x5560e02.htm> (посещен 29.12.2015).
- [8] Вотсон И., Гидрология: Экологический подход, CRC Press, 420-439 – 1993.
- [9] Шульц М., Статтеггер К., Спектральный анализ неравномерно смещенных палеоклиматических временных рядов: *Компьютеры и Геонауки*, v. v. 23 стр. 929-945 – 1997.
- [10] Хасселманн К., Стохастические модели климата: Часть I. Теория, *Tellus* 28 (6), 473-485 – 1976.
- [11] Шульц М., Муделсее М., REDFIT: estimating red-noise spectra directly from unevenly spaced paleoclimatic time series. *Компьютеры и Геонауки* 28.3, 421-426 – 2002.
- [12] Joshi M. K., Pandey A. C., Trend and spectral analysis of rainfall over India during 1901–2000, *Journal of Geophysical Research* 116 (D6), Atmospheres (1984–2012), 1-13 – 2011.
- [13] Kishitwal C. M., Krishnamutri, T. N., Diurnal variation of summer rainfall over Taiwan and its detection using TRMM observations”, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 40, 333-344 – 2001.
- [14] Luk K. C., Ball J. E., Sharma A., An application of artificial neural networks for rainfall forecasting, *Mathematics of Computation, Modell* 33, 683-693 – 2001.
- [15] Seneviratne S.I., Nicholls N., Easterling D., Goodess C. M., Kanae S., Kossin J., Zhang X., Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical

environment. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation, Technical Report, *IPCC*, 109-230 – 2012.